

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Měření teplotní a frekvenční závislosti proudového měřicího  
transformátoru

Measurement of Temperature and Frequency Dependence of Current  
Measuring Transformer

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Tomáš Škuta**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Měření teplotní a frekvenční závislosti proudového měřicího transformátoru  
Measurement of Temperature and Frequency Dependence of Current Measuring Transformer

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem řešení bakalářské práce je ověření teplotní a frekvenční závislosti měřicího transformátoru proudu při zadaných teplotních a frekvenčních rozsazích.

Body zadání:

1. Studium vlastností kalibrátoru OMICRON CMC256.
2. Studium vlastností proudových měřicích transformátorů.
3. Tvorba SW aplikace pro ověření chyby proudového transformátoru v závislosti na teplotě a frekvenci.
4. Praktická měření proudového transformátoru.
5. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I*. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace I. Ostrava 2012. 264 s.
- [3] KOVAL, Ludvík. *Elektrická měření - učební text a návody do cvičení*. VŠB-TU Ostrava. 2012. 147 s. Dostupné také z: <http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=31362>.
- [4] OMICRON. *Getting Started with OMICRON Test Universe 3.0, uživatelský manuál kalibrátoru*. Austria. 2013. 42 s.
- [5] OMICRON. *CMC 256 Hardware, referenční příručka kalibrátoru*. Austria. 2007. 113 s.
- [6] OMICRON. *Advanced Protection Package, uživatelská příručka kalibrátoru*. Austria. 2001. 172 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 30.4.2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, is written over a dotted line.

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.** za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této práce.

## **Abstrakt**

Účelem této bakalářské práce je změřit a vytvořit program pro měření teplotní a frekvenční charakteristiky proudového transformátoru a vyhodnotit jeho chybu společně s nejistotami, studium kalibrátoru OMICRON CMC 256 a proudových měřících transformátorů. V práci jsem využíval tří různé druhy transformátorů. Měření je automatizované a zvětšuje přesnost opakovaným měřením. Program je tvořen v software LABVIEW.

## **Klíčová slova**

Měření, LabVIEW, měřící proudový transformátor, kalibrátor OMICRON CMC 256

## **Abstract**

The purpose of this bachelor thesis is to measure the program for measuring temperature and frequency characteristics of a current transformer and its evaluation within uncertainties, study of the calibrator OMICRON CMC 256 and proud measuring transformers. In my work I used three different types of transformers. The measurement is automated and increases the accuracy of repeated measurements. The program is created in LABVIEW software.

## **Keywords**

Measurement, LabVIEW, measuring current transformer, calibrator OMICRON CMC 256

## Obsah

<b>1</b>	<b>Seznam použitých konstant a veličin .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Seznam zkratek .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Měřicí transformátory (MT) .....</b>	<b>14</b>
6.1	Měřicí transformátory napětí (MTU) .....	14
6.2	Měřicí transformátory proudu (MTI).....	15
<b>7</b>	<b>Kalibrátor OMICRON CMC 256plus .....</b>	<b>15</b>
7.1	Napěťové výstupy .....	16
7.2	Proudové výstupy .....	17
<b>8</b>	<b>Agilent U3606B.....</b>	<b>17</b>
8.1	Přesnost multimetru .....	18
<b>9</b>	<b>LabVIEW.....</b>	<b>18</b>
9.1	Přístrojové drivery .....	20
<b>10</b>	<b>Chyby měření .....</b>	<b>21</b>
<b>11</b>	<b>Nejistoty měření.....</b>	<b>22</b>
11.1	Nejistota typu A .....	22
11.2	Nejistota typu B .....	22
11.3	Směrodatná odchylka .....	22
<b>12</b>	<b>Měření .....</b>	<b>23</b>
12.1	Zapojení, rozsahy a popis měření.....	24
<b>13</b>	<b>Program .....</b>	<b>26</b>
13.1	Použité přístrojové drivery .....	26
13.2	Nejistota měření přístrojů.....	26
13.3	Frekvenční závislost .....	28
13.4	Teplotní závislost .....	30
<b>14</b>	<b>Naměřené hodnoty .....</b>	<b>32</b>
14.1	Měření frekvenční závislosti .....	32
14.2	Měření teplotní závislosti .....	34
<b>15</b>	<b>Zhodnocení naměřených hodnot .....</b>	<b>37</b>

16	<b>Závěr</b> .....	37
17	<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	38
18	<b>Přílohy</b> .....	40



# 1 Seznam použitých konstant a veličin

## Označení použitých veličin a jejich jednotky

Elektrický proud	$I = [\text{A}]$
Elektrické napětí	$U = [\text{V}]$
Dovolená chyba proudu a její úhel	$\delta_I = [\%]; \delta_\varphi = [\text{min}]$
Zdánlivý elektrický výkon	$P = [\text{VA}]$
Magnetická indukce	$B = [\text{T}]$
Frekvence	$f = [\text{Hz}]$
Absolutní chyba měření	$\Delta = [-]$
Relativní chyba měření	$\delta = [\%]$
Teplota	$T = [^\circ\text{C}]$
Indukčnost	$L = [\text{H}]$
Kapacita	$C = [\text{F}]$
Impedance	$Z = [\Omega]$
Třída přesnosti	$\delta_{TP} = [\%]$
Jmenovitý převod	$p = [-]$
Elektrický odpor	$R = [\Omega]$
Nejistota měření typu A	$u_A = [-]$
Nejistota měření typu B	$u_B = [-]$
Nejistota měření typu C	$u_C = [-]$

## **2 Seznam zkratek**

MT	měřicí transformátor
MTU	měřicí transformátor napětí
MTI	měřicí transformátor proudu
GUI	uživatelské grafické rozhraní
VI	virtuální instrument
subVI	podřízený virtuální instrument
PC	počítač
USB	univerzální sériová sběrnice
GPIB	univerzální deska rozhraní
AC	střídavé napětí/proud
DC	stejnosměrné napětí/proud
AC+DC	střídavý i stejnosměrný proud/napětí
RDG	vyčtené hodnoty z přístroje
FS	rozsah přístroje

### 3 Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma MT [1] .....	14
Obr. 2 - Fázorový diagram MT [1] .....	14
Obr. 3 - Třídy přesnosti MTI [1] .....	15
Obr. 4 - Kalibrátor OMICRON CMC 256plus [2] .....	16
Obr. 5 - Napěťové výstupy [4] .....	16
Obr. 6 - Proudové výstupy [4] .....	17
Obr. 7 – Multimetr Agilent U3606B [5] .....	17
Obr. 8 - Funkční diagram LabVIEW [7] .....	19
Obr. 9 – Příklad čelního panelu VI [9] .....	19
Obr. 10 – příklad blokového diagramu VI [9] .....	20
Obr. 11 – Konektor a ikonka subVI .....	20
Obr. 12 – Příklad použití driveru v blokovém diagramu .....	21
Obr. 13 – Měřicí proudové kleště CHAUVIN ARNOUX MN39 .....	23
Obr. 14 – Průvlečný měřicí transformátor .....	23
Obr. 15 – Laboratorní měřicí transformátor .....	24
Obr. 16 – Schéma zapojení pro klasické měřicí transformátory (vlevo) a pro proudové měřicí kleště (vpravo) [14] .....	25
Obr. 17 – Využití přístrojového driveru OMICRON CMC256 .....	26
Obr. 18 – Využití přístrojového driveru AGILENT U3606B .....	26
Obr. 19 – přední panel programu pro frekvenční závislost .....	28
Obr. 20 – Vývojový diagram programu v LabVIEW pro frekvenční závislost .....	29
Obr. 21 – přední panel programu pro teplotní závislost .....	30
Obr. 22 – Vývojový diagram programu v LabVIEW pro teplotní závislost .....	31
Obr. 23 – Frekvenční závislost průvlečného transformátoru při 6 A .....	32
Obr. 24 – Frekvenční závislost laboratorního transformátoru při 10 A .....	33
Obr. 25 – Frekvenční závislost proudových měřících kleští při 10 A .....	34
Obr. 26 – Teplotní závislost proudových měřících kleští při 15 A .....	35
Obr. 27 – Teplotní závislost kruhového transformátoru při 6 A .....	36

## 4 Seznam tabulek

Tab. 1 – Přesnost multimetru Agilent při různých podmínkách [6] .....	18
Tab. 2 – Rozsahy transformátorů a jejich jmenovitý převod .....	25
Tab. 3 – Tabulka naměřených hodnot pro průvlečný transformátor pro 6 A .....	32
Tab. 4 – Tabulka naměřených hodnot pro laboratorní transformátor při 10 A.....	33
Tab. 5 – Tabulka naměřených hodnot pro proudové kleště při 10 A .....	33
Tab. 6 – Tabulka naměřených hodnot pro proudové kleště při 15 A .....	35
Tab. 7 – Tabulka naměřených hodnot pro průvlečný transformátor při 6 A .....	36
Tab. 8 – Zhodnocení naměřených hodnot.....	37

## 5 Úvod

Práce se zabývá měřením teplotní a frekvenční závislosti proudového měřicího transformátoru. Díky vlastnostem jeho magnetického obvodu se transformátory jeví jako frekvenčně závislé. To se projevuje zhoršením třídy přesnosti při vyšších frekvencích. Zhoršení lze eliminovat implementací korekční tabulky do firmware měřicího přístroje, který s těmito transformátory spolupracuje. Tuto korekční tabulku je nutné zahrnout do měření zejména v případě frekvenčních analyzátorů, kde musíme frekvenční závislost a její nelinearitu eliminovat.

Kromě frekvenční závislosti je nutno respektovat také teplotní závislost těchto transformátorů. To zejména v případech, kde se teploty mohou značně lišit od normálu.

Cílem této práce tedy bylo vytvořit software pro automatizované měření frekvenční a teplotní závislosti proudových měřicích transformátorů. Tento vytvořený software je samozřejmě možné použít i v případě jiných proudových měřicích transformátorů.

Stěžejním přístrojem této práce a testovacích měření je i velice přesný zdroj testovacích signálů, což byl v mém případě kalibrátor OMICRON CMC256. Kalibrátor tvoří základ testovacích měření a je automatizovaně ovládán pomocí vytvořené softwarové aplikace s pomocí jeho přístrojového driveru v LabVIEW. Dalším přístrojem je multimetr AGILENT U3606B, díky kterému měříme proudy na sekundárním vinutí. Tento přístroj také komunikuje se softwarovou aplikací pomocí přístrojového driveru a automatizovaně měří.

Výstupem navržené aplikace jsou grafy v závislosti frekvence a teploty na relativní chybě měření. Do těchto výsledků je promítnuta také rozšířená nejistota měření kvůli eliminaci chyb měření kalibrátoru a multimetru. Zjištěné závislosti je možné implementovat do jiných softwarových aplikací pracujících s proudovými transformátory pro eliminaci těchto chyb.

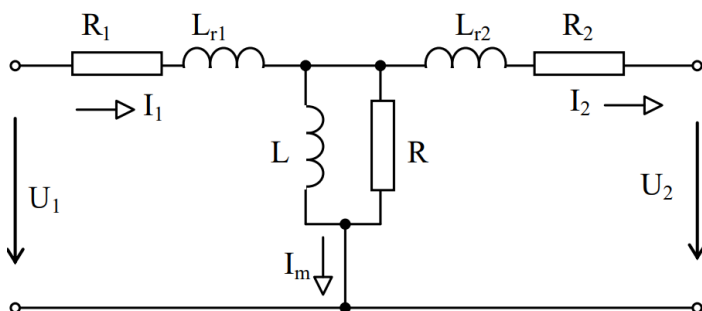
## 6 Měřicí transformátory (MT)

Měřicí transformátor není součástí měřicích přístrojů a jedná se o měřicí převodník. Používá se ve dvou případech:

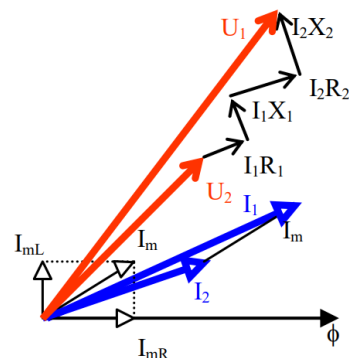
- 1) měníme ním velikost měřené veličiny – proudu nebo napětí
- 2) s jeho pomocí oddělujeme (galvanicky) primární (měřený) a sekundární (měřicí) obvod

**jmenovitý převod  $p$**  – jedná se o podíl primárního proudu nebo napětí k sekundárnímu, bývá vyjádřen zlomkem např. 50/5 A, což znamená že proud 50 A se snižuje na 5 A.

Fázový diagram na obr. 2 je nakreslen pro jmenovitý převod 1 ku 1. Proudy by se tedy měly rovnat ( $I_1 = I_2$ ) a být ve fázi. To samé platí u napětí  $U_1$  a  $U_2$ . U skutečného měřicího transformátoru v magnetizačním okruhu dochází k ztrátám a úbytkům napětí na odporech vinutí. To samé platí také na indukčnostech reaktancí všech vinutí. MT tedy způsobuje jak chybu převodu, tak chybu fáze.



Obr. 1 - Schéma MT [1]



Obr. 2 - Fázorový diagram MT [1]

### 6.1 Měřicí transformátory napětí (MTU)

Hlavní výhodou MTU je malá spotřeba.

- Nejčastější hodnota napětí na sekundárním vinutí je 100 V.
- MTU způsobují stejně jako bylo uvedeno v MT chybu převodu. Ta se vyjadřuje třídou přesnosti podle normy ČSN. Podle této normy jsou určeny následující třídy přesnosti: 0,2 – 0,5 – 1 – 3. Uvedené hodnoty platí při jmenovitém kmitočtu sítě a musí být v rozmezí 50 – 120% jmenovitého napětí.
- MTU způsobují i chybu fáze. Ta se objevuje při měření výkonů a účinníků při použití MT.
- MTU se chová jako zdroj napětí kvůli malým impedancím vinutí. Když dojde ke zkratu na sekundárních svorkách, často dochází ke zničení MT kvůli vysokým zkratovým proudům. Proto by měly MTU pracovat co nejbližší stavu naprázdno – toho se docílí, že připojíme na sekundární vinutí velký odpor.
- Při měřeních, kde záleží na polaritě napětí (wattmetry, elektroměry, fázoměry), musíme dbát na označení svorek. Napětí by mělo jít od svorky M ke svorce N. V jiných případech je možno také od M k 0.
- MTU nemůžeme použít v případě, že by docházelo k magnetování jádra. To může způsobovat stejnosměrná složka průběhu.

## 6.2 Měřicí transformátory proudu (MTI)

Z fázorového diagramu vychází to samé pro MTI jako u MT – MTI také způsobují chybu převodu a fáze. Chyba fáze se vyskytuje a vadí pouze při měření kde záleží na polaritě napětí (wattmetry, elektroměry, fázoměry).

Ve většině případů známe velikost primárního napětí, na které bude MTU připojený. V případě MTI není ve všech případech proud konstantní (transformovaný). Se snižujícím proudem se zvětšuje chyba transformátoru podle této tabulky:

Prim. proud v % I <sub>1n</sub>	Třídy přesnosti měřicích transformátorů proudu									
	0,1		0,2		0,5		1		3	
	Dovolené chyby proudu δ <sub>I</sub> a úhlu δ <sub>φ</sub>									
	δ <sub>I</sub>	δ <sub>φ</sub>	δ <sub>I</sub>	δ <sub>φ</sub>	δ <sub>I</sub>	δ <sub>φ</sub>	δ <sub>I</sub>	δ <sub>φ</sub>	δ <sub>I</sub>	δ <sub>φ</sub>
	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min
10	0,25	10	0,5	20	1	60	2	120		
20	0,2	8	0,35	15	0,75	45	1,5	90		
100	0,1	5	0,2	10	0,5	30	1	60	3	
120	0,1	5	0,2	10	0,5	30	1	60	3	

Obr. 3 - Třídy přesnosti MTI [1]

- Výkon MTI se rovná od jednotek do desítek VA.
- Hodnota sekundárního proudu je obvykle kolem 5 A.
- Pokud měříme s MTI nikdy nesmí dojít k rozpojení sekundárního obvodu, pokud primárním vinutím zrovna prochází proud. Když dojde k rozpojení, tak je jádro magnetované do nasycení primárním proudem. Magnetická indukce má poté průběh ve tvaru obdélníku a indukované napětí dosahuje vysokých hodnot. Tím pádem může dojít k průrazu izolace mezi vinutími nebo také k úrazu elektrickým proudem. Kvůli toho mají MTI na sekundárním vinutí zkratovací zařízení.
- Při měření, kde se vyskytuje chyba fáze (wattmetry, elektroměry, fázoměry) musíme dbát při označování svorek.
- MTI nemůžeme použít v případě, že by docházelo k magnetování jádra. To způsobuje stejnosměrná složka průběhu, stejně jako u MTU.
- Pokud používáme laboratorní MTI musíme obvod s transformovaným proudem rozpojit a vložit do něj MTI. MTI v provozu mohou být provedeny s děleným jádrem nebo tzv. průvlečné. V těchto případech nemusíme obvod rozpojovat. [1]

## 7 Kalibrátor OMICRON CMC 256plus

Je to jeden z nejlepších přístrojů pro aplikace a měření s velmi vysokou přesností. Používá se nejen pro testování bezpečnosti přístrojů, ale také je univerzální kalibrační pomůcka.

Jeho obrovská přesnost dovoluje kalibrovat širokou škálu měřicích přístrojů včetně: energetické měřiče třídy 0,2, měřicí převodníky, měřiče kvality elektrické energie a zařízení pro měření fází. Jeho jedinečná přesnost z něj dělá ideálního pro ochranu a měření veškerého vybavení pro vývoj, výzkum a testování.

Generuje vysoce přesné testovací signály i pro malé amplitudy vzhledem k jeho konstrukci a jeho technologii. Používá šest proudových a čtyři napěťové výstupy, u kterých se dá měnit amplituda, fáze a frekvence. Obsahuje také binární vstupy, které se dají nastavit pro využití kalibrátoru jako multimetru. Tyto signály a jejich parametry se nastavují v softwaru jménem OMICRON Test Universe.

V této práci ho využívám jako zdroj přesného proudu v primárním vinutí transformátoru a změnu jeho frekvence. Tento přístroj se dá jednoduše programovat v LabVIEW a plně přes tento software ovládat jako to dělám v této práci. [3]



Obr. 4 - Kalibrátor OMICRON CMC 256plus [2]

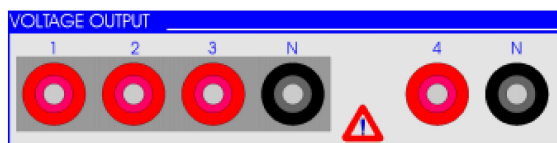
## 7.1 Napěťové výstupy

Napěťové výstupy jsou čtyři, s tím, že jsou zde pak dva nulové vodiče. Všechny tyto výstupy jsou galvanicky odděleny od všech dalších výstupů CMC 256. Nulové vodiče N jsou spolu navzájem galvanicky propojeny. Napěťový a proudový zesilovač jsou implementovány stejně jako zesilovač pro stejnosměrný proud. Každý ze vstupů představuje jednu fázi, kromě výstupu číslo 4.

Tyto výstupy mají dva rozsahy:

- Rozsah 1: 4 x 0 – 150 V
- Rozsah 2: 4 x 0 – 300 V

Všechny tyto výstupy jsou ochráněny před přetížením a přehřátím. Varování před přehřátím a přetížením se vyskytne v programu kterým se CMC 256 ovládá. [4]



Obr. 5 - Napěťové výstupy [4]



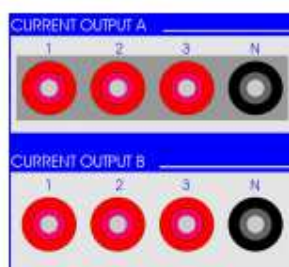
## 7.2 Proudové výstupy

Proudové výstupy jsou dva, s tím, že jsou výstupy A i B galvanicky odděleny a každé mají svůj nulový vodič. Galvanicky odděleny jsou výstupy i od všech dalších výstupů CMC 256. Zase zde jsou implementovány zesilovače stejně jako u napěťových výstupů.

Tyto výstupy mají dva rozsahy:

- Rozsah 1: 6 x 1,25 A
- Rozsah 2: 6 x 12,5 A

Všechny tyto výstupy jsou stejně jako napěťové, chráněny před přetížením a přehřátím. Varování před přehřátím a přetížením se vyskytne v programu, kterým se CMC 256 ovládá – OMICRON Test Universe. [4]



Obr. 6 - Proudové výstupy [4]

## 8 Agilent U3606B

Jedná se o multimetr nebo o stejnosměrný zdroj. Je kombinací 5,5místního digitálního multimetru a 30 W jedno výstupového zdroje s generátorem obdélníkového signálu. Tyto dva samostatné moduly jsou schopny pracovat současně. Je to velice výhodné, efektivní a pohodlné testovací zařízení.

Na jeho předním panelu jsou tlačítka, kterými můžeme nastavovat parametry, které chceme měřit. Také matematické operace, výstupní parametry a nastavení přístroje. Na zadní straně je implementován konektor pro GPIB, USB a svorky. Pomocí těchto GPIB a USB výstupů se dá Agilent připojit k externímu ovladači – v mém případě PC a ovládat pomocí vhodného softwaru – v mém případě LabVIEW.



Obr. 7 – Multimetr Agilent U3606B [5]

**Měřicí funkce:**

- 5,5místný displej – 5 čísel od 0 do 9 a jedno číslo 0 nebo 1
- Měření napětí a proudu – DC, AC, AC+DC
- Měření odporu
- Měření frekvence
- Automatické a manuální nastavení rozsahu [6]

**8.1 Přesnost multimetru**

K zpřesnění měření, je třeba znát přesnost multimetru při různých podmínkách. Také záleží na různých hodnotách proudu a napětí, včetně frekvence.

V Tab. 1 níže jde vidět přesnost multimetru při různých podmínkách. Pro střídavé napětí a proud, poté pro rozsah a jeho maxima, minima a také frekvenční rozsahy. Pak podmínky podle toho, kdy byla naposled provedena kalibrace multimetru a jeho teplota. [6]

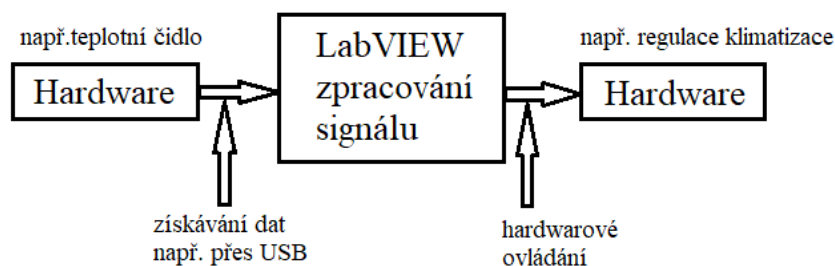
*Tab. 1 – Přesnost multimetru Agilent při různých podmínkách [6]*

Funkce	Rozsah	Frekvenční rozsah	24 hodin 23 °C +/- 1 °C	90 dní 23 °C +/- 5 °C	1 rok 23 °C +/- 5 °C	0–18 °C & 28–55 °C
Střídavé napětí	100 mV - 750 V	20 Hz - 45 Hz	0.60 + 0.1	0.60 + 0.1	1.00 + 0.10	0.02 + 0.02
		45 Hz - 10 kHz	0.16 + 0.1	0.16 + 0.1	0.20 + 0.1	0.02 + 0.02
		10 kHz – 30kHz	0.80 + 0.1	0.80 + 0.1	1.00 + 0.1	0.02 + 0.02
		30 kHz - 100 kHz	3.00 + 0.2	3.00 + 0.2	3.00 + 0.2	0.05 + 0.02
Střídavý proud	100 mA - 3 A	20 Hz - 45 Hz	0.80 + 0.1	0.80 + 0.1	1.50 + 0.1	0.02 + 0.02
		45 Hz - 10 kHz	0.40 + 0.1	0.40 + 0.1	0.50 + 0.1	0.02 + 0.02
		1 kHz - 10 kHz	2.00 + 0.2	2.00 + 0.2	2.00 + 0.2	0.02 + 0.02

**9 LabVIEW**

LabVIEW je software vytvořený firmou National Instruments. Jedná se o program ke grafickému programování, který používá ikony místo kódů k vytváření měřících a řídicích aplikací. Používá se tedy pro získávání dat, jejich zpracování a hardwarovému ovládání. Je také možnost pomocí programu pouze sledovat a získávat měřené hodnoty do počítače a dále s nimi pracovat. Zjednodušeně se zabývá sběrem, analýzou a prezentací dat.

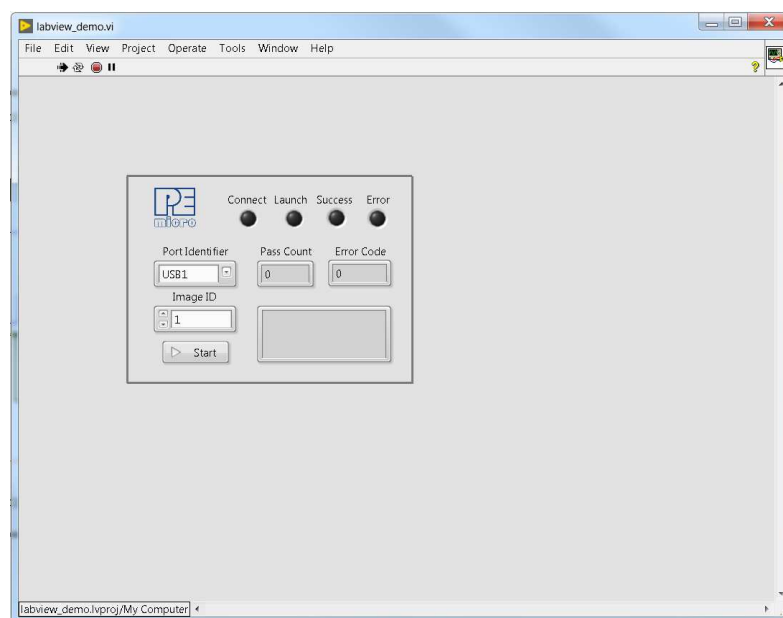
LabVIEW tedy pracuje na principu, že přijme signál např. z teplotního čidla – kdy teplota může být nižší než požadovaná hodnota teploty, kterou si uživatel zadal a tím pádem program provede regulaci klimatizace, aby se teplota zvýšila. Využívá tedy čidla, tlačítka apod. jako vstupy a zařízení jako výstupy. [7]



Obr. 8 - Funkční diagram LabVIEW [7]

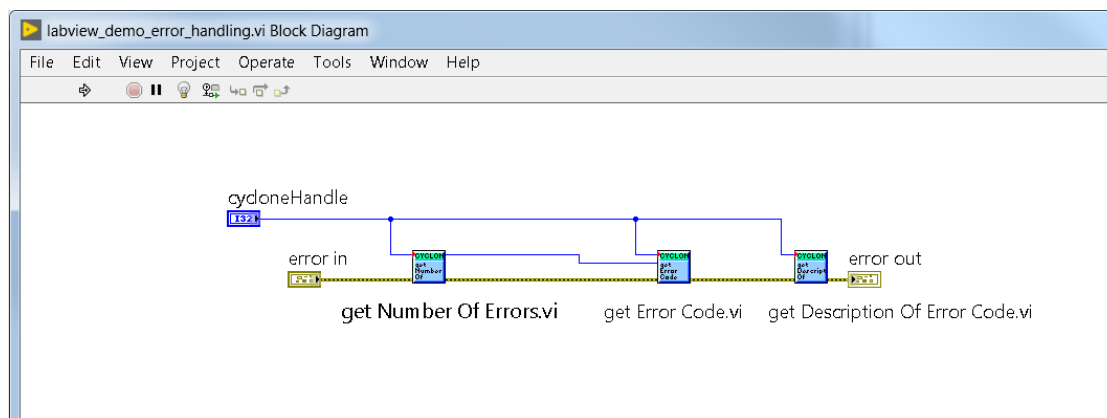
Výsledný produkt z LabVIEW je virtuální instrument neboli přístroj, protože se ve výsledku podobá svou funkcí a charakterem reálnému přístroji. Virtuální instrument obsahuje:

- Grafické rozhraní (GUI) pro uživatele – čelní panel (Front Panel), který simuluje čelní panel fyzického přístroje. Obsahuje displeje (indikátory) a grafy pro indikaci hodnot a také prvky pro ovládání (tlačítka, knoflíky). Čelní panel se ovládá myší nebo klávesnicí.



Obr. 9 – Příklad čelního panelu VI [9]

- Funkce virtuálního instrumentu je dána blokovým schématem (Block Diagram). Toto blokové schéma je tvořeno ikonami reprezentující ovládací a indikační prvky, které jsou také vidět na čelním panelu. V tomto blokovém diagramu se také nachází logika a funkce celého programu. Je to mozek každé aplikace.



Obr. 10 – příklad blokového diagramu VI [9]

- Instrument můžeme používat samostatně jako celý program nebo jako jeho jednotlivé části – podprogramy, které se nazývají podřízené virtuální instrumenty (subVI). Součástí každého subVI je její ikonka a konektor pro vstupní a výstupní parametry. V každém subVI je zapouzdřena nějaká určitá funkce, kterou pak může využívat více hlavních VI.



Obr. 11 – Konektor a ikonka subVI

LabVIEW tedy skládá více částí aplikace (subVI) do jedné a tím vzniká výsledný virtuální instrument. Aplikace se dá také přeložit do EXE podoby ke spuštění. Ta pak slouží k šíření na ostatní počítače nezávisle na LabVIEW – tedy aplikace pak funguje i bez LabVIEW. [8]

## 9.1 Přístrojové drivery

Drivery v LabVIEW umožňují práci s přístrojem připojeným k PC. Je to sada softwarových rutin, které řídí již zmiňovaný přístroj. Každá tato rutina obsahuje programové operace ke konfiguraci, inicializaci, čtení a zápisu dat a samozřejmě spuštění přístroje. Tyto drivery umožňují řízení přístrojů a usnadňují práci s přístroji tím, že není potřeba se učit programovací protokol pro každý přístroj zvlášť. Tyto ovladače se jednoduše nainstalují do PC, na kterém se programuje a klasicky se využívají v blokovém diagramu a čelním panelu jako ostatní prvky.

Na obrázku je zobrazen příklad zapojení driveru Agilent U3606B, který jsem využíval v praktické části a který je připojen k PC přes GPIB do USB. Na vstupu je inicializace, kde se konfiguruje, který vstup jsem využíval – v tomto případě GPIB 1 a co se měří, v tomto případě elektrický proud. Další na řadě je měření hodnoty a nakonec zavření driveru. [10]



Obr. 12 – Příklad použití driveru v blokovém diagramu

## 10 Chyby měření

„Výsledek každého měření se poněkud liší od skutečné hodnoty. Rozdíl mezi naměřenou hodnotou  $M$  a skutečnou hodnotou  $S$  se nazývá chyba měření. V praxi se rozlišují dvě chyby, a to **absolutní a poměrná (relativní) chyba měření**.“

**Absolutní chyba ( $\Delta$ )** je rozdíl mezi naměřenou hodnotou ( $M$ ) a skutečnou hodnotou ( $S$ ) měřené veličiny:

$$\Delta = M - S \quad [-] \quad [11]$$

**Poměrná (relativní) chyba ( $\delta$ ):**

$$\delta = \Delta / N \cdot 100 \text{ nebo } \delta = \Delta / S \cdot 100 \quad [\%] \quad [11]$$

Chyby se počítají z toho důvodu, že skutečnou hodnotu nikdy nemůžeme z fyzikálních důvodů úplně zjistit. Proto se skutečná hodnota nahrazuje konvenčně pravou hodnotou. Ta lze zjistit přesnějším měřením v co nejideálnějších podmínkách, teoretickým výpočtem nebo aritmetickým průměrem z opakovaných měření.

Chyby dále rozdělujeme na chyby soustavné a nahodilé. Při opakovaném měření za stejných podmínek se chyby soustavné vyskytují pořád stejně. Chyby nahodilé se vyskytují úplně náhodně s neznámou zákonitostí a většinou neznáme přesně jejich původ. V tomto případě se při opakování tedy vyskytuje vždy jiná chyba. Chyby nahodilé se ještě rozdělují na:

- **Vlivy mechanické** – vznik při měření při nesprávné poloze měřicího přístroje
- **Vlivy vlhkosti**
- **Vliv cizích magnetických polí** – projevují se u přístrojů, které pracují na principu magnetického pole
- **Vliv cizích elektrostatických polí** – prakticky se neprojevuje
- **Vliv teploty** – tento vliv je velký. Projevuje se zahřátím aktivních částí měřicí soustavy. Mění se také pružnost spirál, dále se zvětšuje tření kvůli roztažnosti kovů. Každý přístroj má svou třídu přesnosti uvedenou pro teplotu  $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na měření má i vliv změna teploty při přesunu přístrojů z jednoho prostředí do druhého. Měření by se mělo provádět až při ustálení teploty místnosti s přístrojem.
- **Vliv frekvence** – projevuje se pouze u přístrojů, které mají ovlivnění vnitřní odpor indukčností nebo kapacitou

### Dále rozdělujeme chyby na:

- **Chyby metody (absolutní chyba  $\Delta$  nebo relativní chyba  $\delta$ )** – „vznikají tím, že se při výpočtu měřené veličiny neuvažují všechny známé vlivy, např. spotřeba přístrojů nebo tím, že se pro zrychlení měření zjednoduší výsledný vztah k výpočtu měřené veličiny nebo tím, že se zjednoduší zapojení měřicích přístrojů apod. Tato chyba je chybou soustavnou. Na rozdíl od některých dalších soustavných chyb, jejichž velikost nemůžeme přesně určit, je chyba metody chybou korigovatelnou. Vliv chyby metody na výsledek měření lze tedy vyloučit opravou – korekcí. Je-li výsledek měření  $N_1$  zatížen chybou metody, jejíž velikost je  $\Delta_m$  (samozřejmě s ohledem na znaménko), je opravený výsledek měření  $N$  (korigovaný na chybu metody) dán vztahem:  
$$N = N_1 - \Delta_m.$$
- **Chyby měřicích přístrojů metody (absolutní chyba  $\Delta$  nebo relativní chyba  $\delta$ )** – „vznikají nedokonalostí a vlastnostmi měřicích přístrojů. Některé dílčí chyby přístrojů lze zařadit do chyb soustavných, ostatní jsou chybami nahodilými. Chyba měřicího přístroje je dovolenou chybou přístroje, jejíž velikost je stanovena u některých přístrojů třídou přesnosti.“ [11]

## **11 Nejistoty měření**

U měření se převážně vyjadřují jeho nejistoty. Oproti chybám jde o komplexnější posouzení měření. Nejistoty vychází z nejistot celého měřicího řetězce. [12]

### **11.1 Nejistota typu A**

Tato nejistota je způsobena náhodnými vlivy stejně jako chyby měření. Pokud je počet měření alespoň 10, určujeme nejistotu podobně jako chybu měření. Při menším počtu měření se nejistota násobí koeficientem rozšíření kvůli kompenzaci za menší počet měření. [12]

### **11.2 Nejistota typu B**

Nejistota typu B není způsobena náhodnými vlivy. Při opakování měření je stále stejná. Určuje se bez statistického výpočtu. Způsobují ji měřicí přístroje, techniky, konstanty a podmínky, při kterých měření probíhá. Při jejím určení se odhaduje maximální rozsah odchylek od měřené hodnoty, tak aby se v něm skutečná hodnota nacházela. [12]

### **11.3 Směrodatná odchylka**

Určuje, jak moc jsou hodnoty odchýleny z průměru hodnot. [13]

## 12 Měření

V této kapitole jsem se zabýval již samotnou praktickou částí – měřením. V této práci jsem měřil tři typy měřicího proudového transformátoru. Měřicí proudové kleště, průvlečný měřicí transformátor a laboratorní měřicí transformátor. Měřil jsem různé typy transformátorů z důvodu zjištění jejich případného různého chování při měření. Jejich schémata zapojení, rozsahy a jmenovité převody jsou uvedeny v další kapitole.

### Měřené transformátory:

- Proudové měřicí kleště – měřily po převodu napětí podle jeho rozsahu a jmenovitého převodu a mají dva různé rozsahy. Prostor mezi kleštěmi byl využit jako primární vinutí a výstupní kabely jako sekundární vinutí, které vstupovaly do multimetru.



Obr. 13 – Měřicí proudové kleště CHAUVIN ARNOUX MN39

- Průvlečný měřicí transformátor – má vstupy na primární vinutí s třemi rozsahy a výstupy k měření na sekundárním vinutí



Obr. 14 – Průvlečný měřicí transformátor

- Laboratorní měřicí transformátor – stejně jako průvlečný transformátor má vstupy na primární vinutí a výstupy pro měření proudu na sekundárním vinutí. Má až osm měřících rozsahů.



*Obr. 15 – Laboratorní měřicí transformátor*

## 12.1 Zapojení, rozsahy a popis měření

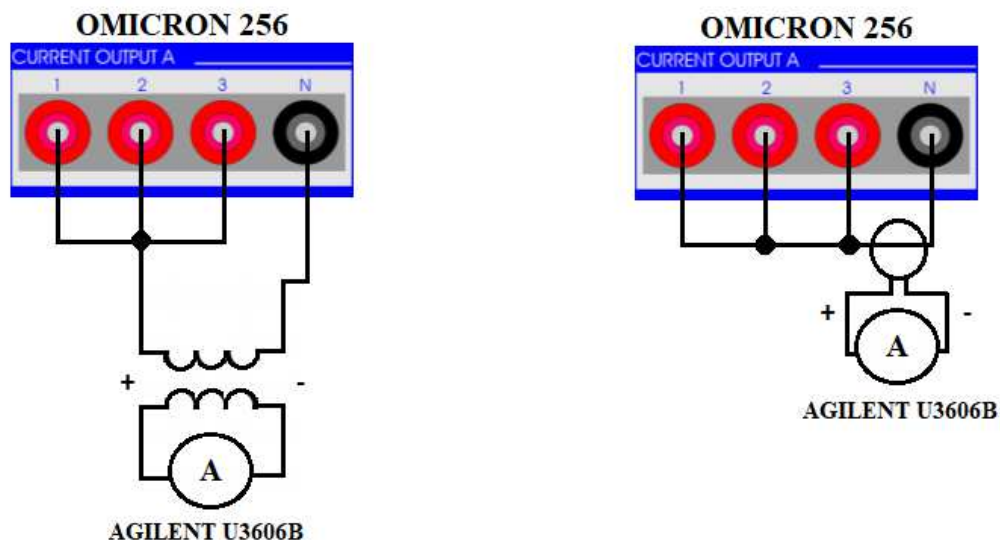
Schémata zapojení pro průvlečný transformátor a pro laboratorní transformátor byly stejné. Pro kleště se z důvodu jejich konstrukce schéma lišilo od původního.

Jak lze vidět na schématu na Obr. 16, tak všechny fáze z přístroje Omicron CMC256 byly spojeny do jedné, z důvodu potřeby získat větší proud, který byl až 20 A. Na jedné fázi bylo 12,5 A. Jsou využity všechny tři z důvodu rezervy v případě potřeby většího proudu, než jsem užíval. Tyto fáze byly napojeny na kladnou svorku primárního vinutí transformátoru. Na zápornou svorku byl napojen nulový vodič. Co se týče sekundárního vinutí, zde byl napojen multimetr Agilent U3606B, který měřil proud.

U proudových kleští se schéma lišilo tím, že se uzavřel obvod mezi fázemi a nulovým vodičem a kabel, který je spojoval se provlekl kleštěmi a ty se poté napojily na multimetr Agilent U3606B k měření napětí.



### Schéma zapojení:



Obr. 16 – Schéma zapojení pro klasické měřicí transformátory (vlevo) a pro proudové měřicí kleště (vpravo) [14]

Dále je nutno zmínit použité rozsahy jak kalibrátoru Omicron CMC256, multimetru AGILENT U3606, tak samozřejmě rozsahy měřících transformátorů.

U kalibrátoru byl použit rozsah 3 x 12,5 A – každá fáze generovala proud 12,5 A

U multimetru byl rozsah daný konstrukcí přístroje – měří proud 0-3 A a napětí 0-750 V.

V Tab. 2 jsou uvedeny použité rozsahy měřících transformátorů. U kleští je měřeno napětí na sekundárním vinutí vzhledem k jejich provedení. Také jsem uvedl jmenovitý převod, s kterým měřím. Udává, jakým převodem se převádí proud/napětí mezi primárním a sekundárním vinutím.

### Rozsahy transformátorů a jejich převody:

Tab. 2 – Rozsahy transformátorů a jejich jmenovitý převod

Měřicí transformátor	Rozsah	Jmenovitý převod p
Proudové kleště	20 A x 100	20 A / 2 V
Laboratorní transformátor	20 K	20 A / 5 A
Průvlečný transformátor	15 K	15 A / 5 A

Princip měření spočíval v tom, že pomocí kalibrátoru jsem generoval přesný proud na primární vinutí jednoho z měřících transformátorů. Primární vinutí se v tomto případě označuje také jako měřicí vinutí. Na sekundárním vinutí, které je označeno a využíváno jako měřené vinutí, byl měřen proud po převodu pomocí multimetru.

## 13 Program

Pro měření bylo třeba vytvořit program, který prováděl automatizované měření, výpočty chyb a odchylek. Tento program také ukládal hodnoty do souboru xls a vykresloval závislosti.

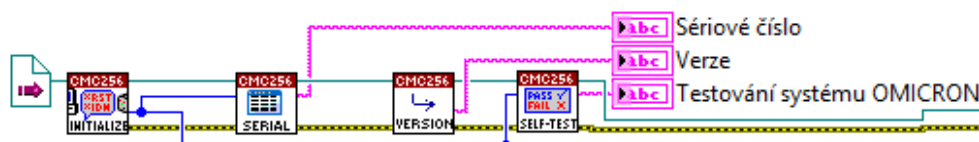
Tvorbu aplikace jsem prováděl v softwaru LabVIEW. Vzhledem k tomu, že byla prováděna dvě měření, aplikace jsem vytvořil dvě, pro každé měření zvlášť. Kalibrátor je připojen přes ETHERNET a multimetr přes rozhraní GPIB/USB.

### 13.1 Použité přístrojové drivery

Pro komunikaci přístrojů s LabVIEW, bylo třeba využít jejich přístrojové drivery, které jsou volně ke stažení, na oficiálních webových stránkách National Instruments.

#### Driver pro OMICRON CMC256:

Tento přístrojový driver se využívá pro komunikaci, testování a funkci kalibrátoru OMICRON. Aplikace díky němu generovala proud a dokázala ho měnit při chodu programu. Umí měnit i jeho frekvenci.



Obr. 17 – Využití přístrojového driveru OMICRON CMC256

#### Driver pro AGILENT U3606B:

Driver pro multimetr AGILENT zařizuje jeho komunikaci a testování. Díky němu aplikace měřila proud kontinuálně po dobu celého měření.



Obr. 18 – Využití přístrojového driveru AGILENT U3606B

### 13.2 Nejistota měření přístrojů

Mimo chyb, které byly vypočteny standartně podle vzorců v kapitole 10, se také musely vypočítat nejistoty měření kalibrátoru Omicron a multimetru Agilent a promítnout do výsledné změřené hodnoty pro zpřesnění měření.

Z naměřených hodnot se vypočetla střední hodnota pomocí funkce MEAN a směrodatná odchylka SMO, pomocí knihovních funkcí v LabVIEW.

**Vzorce pro absolutní chybu měřicího přístroje jsou následující:**

- **OMICRON CMC256:**  $\Delta_{OMICRON} = 0,015 \% \text{ z RDG} + 0,005 \% \text{ z FS}$  [3]
- **AGILENT U3606B:**  $\Delta_{AGILENT} = 0,5 \% \text{ z RDG} + 0,1 \% \text{ z FS}$  [6]

**Následné vzorce pro nejistoty:**

**OMICRON CMC256:**

- $u_{B \text{ omicron}} = \frac{\Delta_{omicron}}{\sqrt{3}}$  [12]
- $u_{C \text{ omicron}} = u_{B \text{ omicron}}$

**AGILENT U3606B**

- $u_{A \text{ agilent}} = SMO$  [13]
- $u_{B \text{ agilent}} = \frac{\Delta_{agilent}}{\sqrt{3}}$  [12]
- $u_{C \text{ agilent}} = \sqrt{(u_{B \text{ agilent}}^2 + u_{A \text{ agilent}}^2)}$  [12]

Pro zjištění celkové nejistoty měření, jsem potřeboval vypočítat celkovou nejistotu obou přístrojů  $u_{C \text{ agilent}}$  a  $u_{C \text{ omicron}}$  podle vzorců výše. Poté jsem spočítal celkovou nejistotu celého měřicího řetězce:

$$- u_C = \sqrt{(u_{C \text{ agilent}}^2 + u_{C \text{ omicron}}^2)} \quad [12]$$

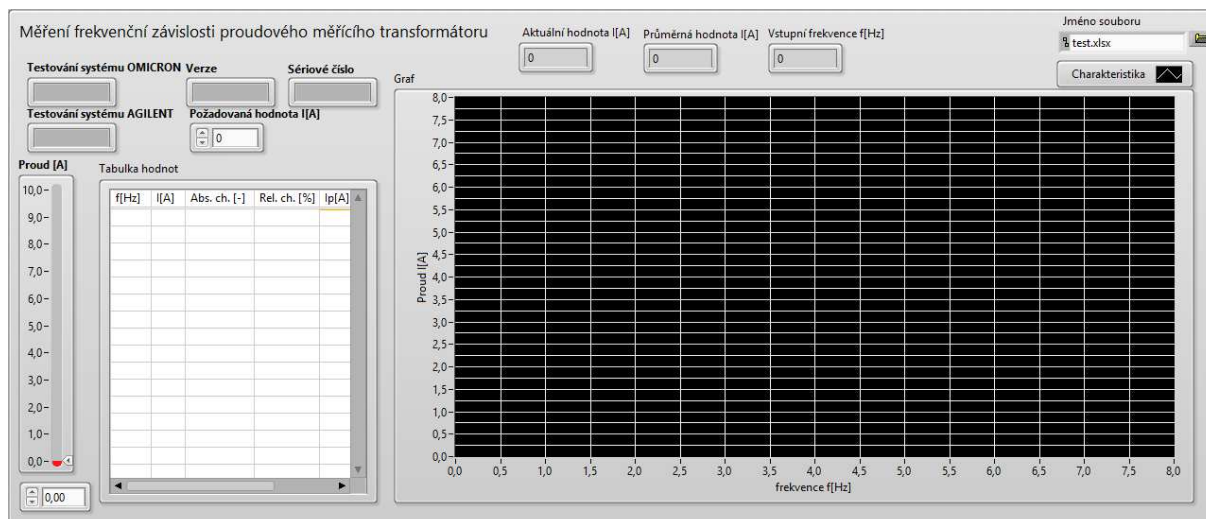
Tuto nejistotu jsem pak musel rozšířit koeficientem  $k = 2$ . Za předpokladu normálního rozložení hustoty pravděpodobnosti to znamená interval pokrytí 95 %. Vzorec pro rozšířenou nejistotu je (dle ČSN EN 60 359):

$$- u_k = u_C * 2$$

Měřená hodnota se poté rovnala střední hodnotě, ke které se přičetla právě výsledná rozšířená nejistota. Přičítání k měřené hodnotě a výpočet samotné nejistoty je zajištěn také pomocí programu.

### 13.3 Frekvenční závislost

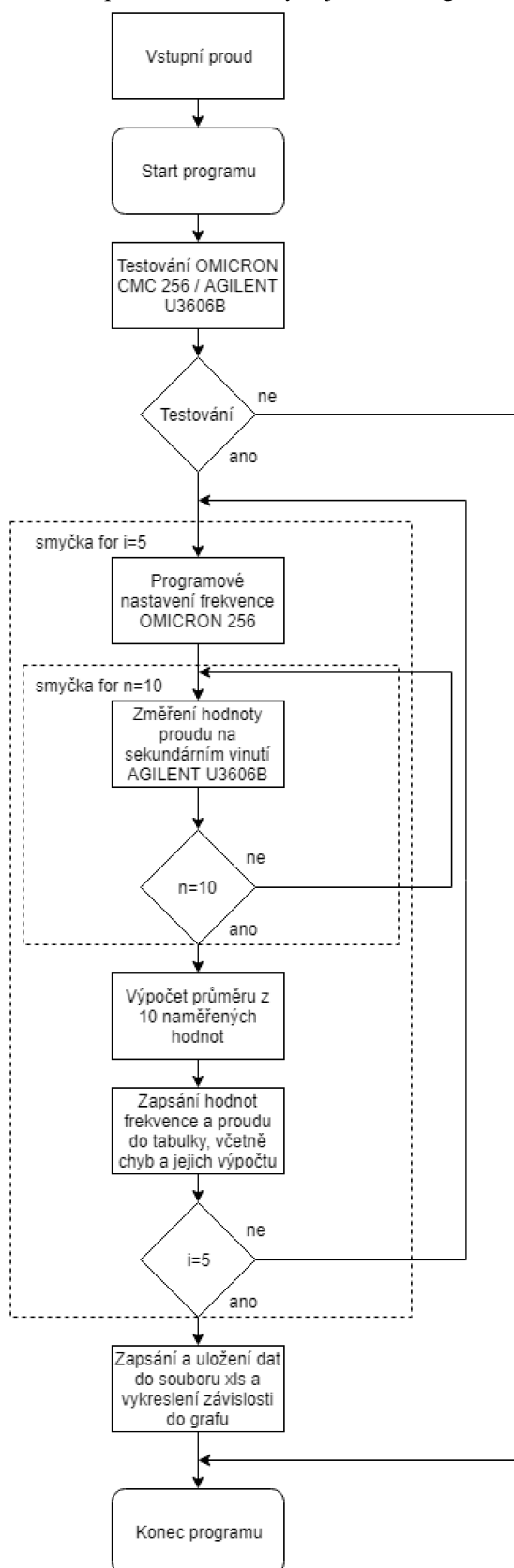
Program pro frekvenční závislost využíval čelní panel na Obr. 19. Na čelním panelu se zadávaly vstupní parametry a to jméno souboru, kde jsem zadával jméno transformátoru a hodnotu, při které jsem ho měřil a požadovaná hodnota proudu na sekundárním vinutí. Dále byly zobrazovány absolutní, relativní chyby a měřené hodnoty do tabulky a grafu, který byl v závislosti frekvence na relativní chybě. Také šlo při měření pozorovat průběžné hodnoty proudů a frekvence a výsledky testování obou přístrojů, jak kalibrátoru, tak multimetru. Program je automatizovaný a po zapnutí se provede celé zadané měření.



Obr. 19 – přední panel programu pro frekvenční závislost

Před spuštěním programu se zadal vstupní proud, poté se provedlo testování kalibrátoru a multimetru. Pokud testování proběhlo v pořádku, program pokročil dále. Došlo k nastavení konstantního proudu na primárním vinutí pomocí kalibrátoru, k nastavení první měřené frekvence a odměření deseti hodnot proudu na sekundárním vinutí pomocí multimetru k zpřesnění měření. Po výpočtu průměru se hodnota proudu zapsala do tabulky společně s frekvencí a došlo k přepnutí na další frekvence. Takto se smyčka opakovala, dokud se neodměřily všechny žádané frekvence. Po odměření se došlo k výpočtu chyb a nejistot a jejich zápisu do tabulky, včetně promítnutí nejistot do výsledných hodnot. Nakonec se vykreslila charakteristika a program byl ukončen.

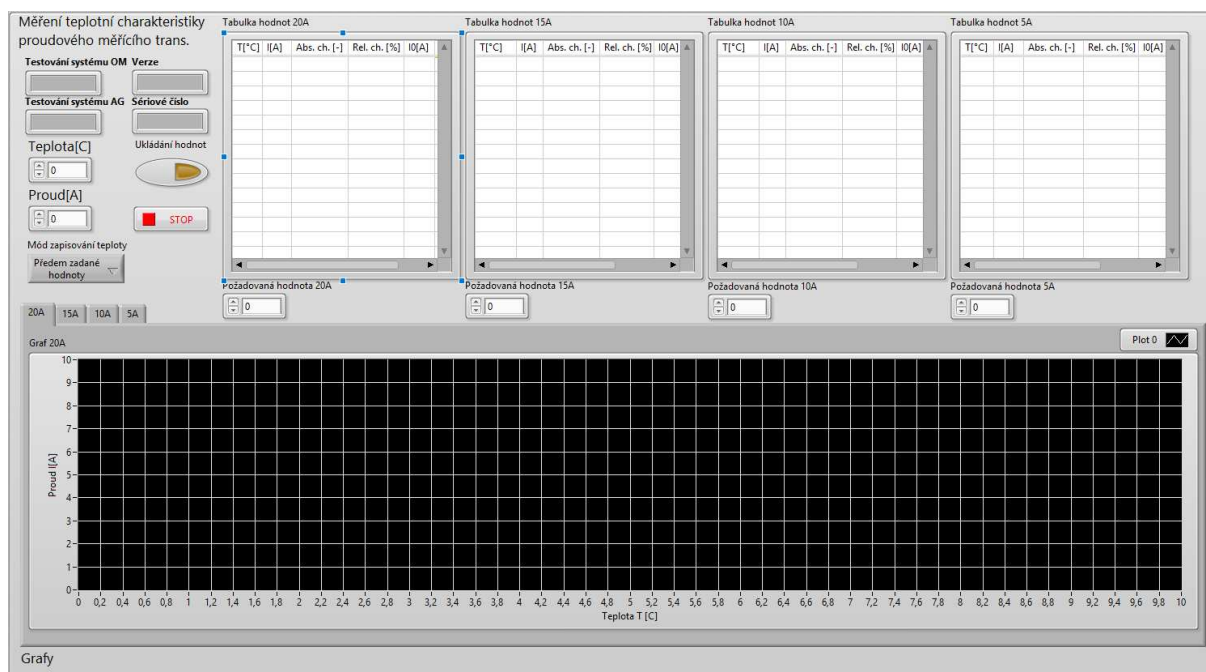
Funkce programu je zobrazená také pomocí tohoto vývojového diagramu.



Obr. 20 – Vývojový diagram programu v LabVIEW pro frekvenční závislost

## 13.4 Teplotní závislost

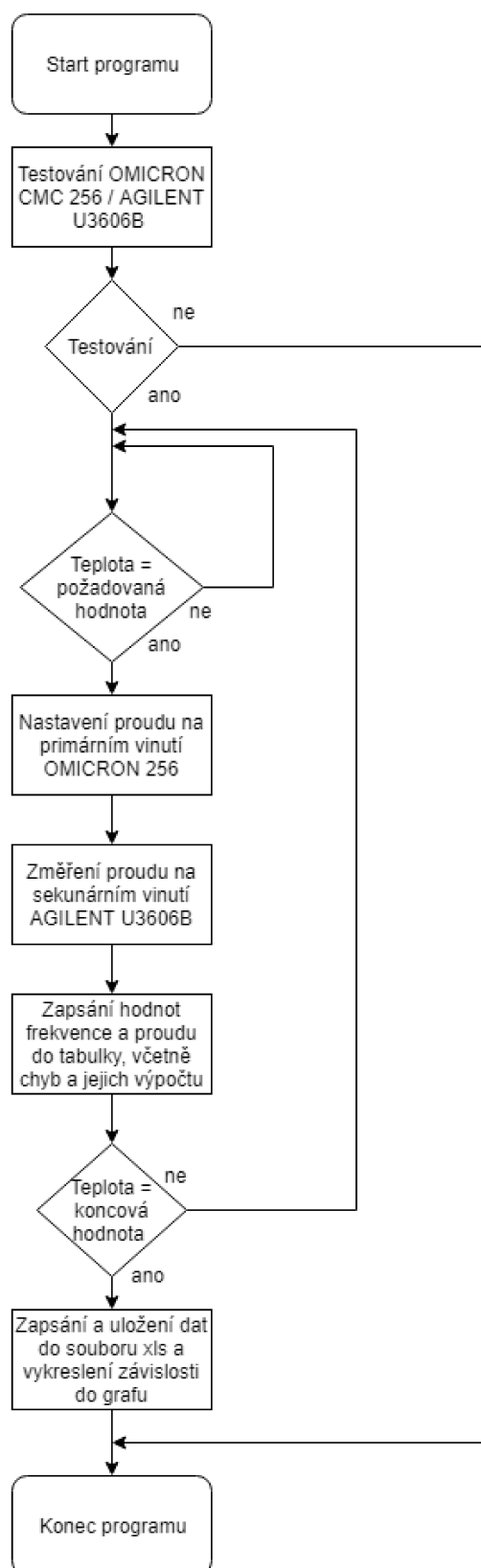
Podobně jako pro frekvenční závislost, program pro teplotní závislost má podobný čelní panel. S tím rozdílem, že vzhledem k náročnosti s nahříváním a ochlazováním se měřilo více proudů najednou pro stejnou teplotu, aby se nemuselo měření opakovat. Opět se zobrazovaly chyby, měřené hodnoty, grafy, průběžné hodnoty při měření a výsledky testování přístrojů. Program je automatizovaný a po zapnutí se provede celé zadané měření. Program má mimo jiné také dvě možnosti nastavení, při kterých teplotách měřil. Buď to ručně vždy při každé teplotě po zmáčknutí tlačítka nebo se do něj předem zadaly hodnoty, při kterých jsem chtěl odměřit hodnotu proudu na sekundárním vinutí.



Obr. 21 – přední panel programu pro teplotní závislost

Před spuštěním programu bylo opět provedeno testování přístrojů. V případě, že testování proběhlo v pořádku spustila se smyčka, která nastavila daný proud na primární vinutí a pokud se teplota rovnala teplotě, při které jsem chtěl změřit hodnotu proudu na sekundárním vinutí, tak se pomocí multimetru změřila. Měření probíhalo, dokud nebylo manuálně vypnuto nebo teplota nedosáhla požadované hodnoty, do které jsem chtěl měřit. Na konci opět došlo k vypočtení chyb, nejistot a vykreslení závislostí do grafu.

Funkce programu je opět také zobrazená pomocí vývojového diagramu níže.



Obr. 22 – Vývojový diagram programu v LabVIEW pro teplotní závislost

## 14 Naměřené hodnoty

V této kapitole jsou zobrazeny a popsány naměřené hodnoty výše popsanou aplikací a princip měření, upravený pro určité měření.

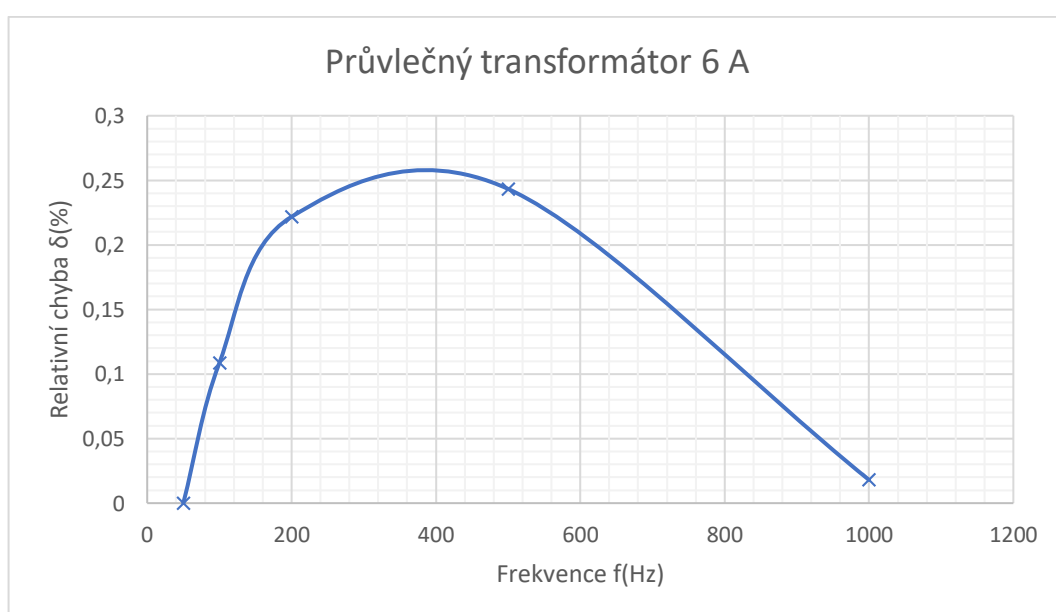
### 14.1 Měření frekvenční závislosti

U frekvenční závislosti měření probíhalo tak, že se na primární vinutí přivedl pomocí programu vstupní proud, který byl neměnný. Poté se měnila pouze jeho frekvence, a to v hodnotách 50, 100, 200, 500 a 1000 Hz. Na sekundárním vinutí pak docházelo k měření hodnot pomocí multimetru, opět programově. Zároveň s měřením je programem vypočítávaná hodnota absolutní a relativní chyby, která je vztahována k proudu na sekundárním vinutí při 50 Hz. K 50 Hz z důvodu toho, že je to ideální frekvence pro většinu zařízení. Zároveň se také do výsledných proudů promítala nejistota vypočtená programem. Všechny průběhy jsou v závislosti frekvence na relativní chybě.

Zde je tabulka hodnot a průběh relativní chyby pro průvlečný transformátor při 6 A na primárním vinutí, vzhledem k frekvenci. Byly měřeny také proudy 3 A a 9 A. Ostatní měřené průběhy jsou uvedeny vždy v příloze, vycházely totiž skoro stejné charakteristiky.

Tab. 3 – Tabulka naměřených hodnot pro průvlečný transformátor pro 6 A

f[Hz]	I[A]	$\Delta$ [-]	$\delta$ [%]
50	2,00471	0	0
100	2,006887	0,002177	0,108594
200	2,009156	0,004446	0,221778
500	2,009588	0,004878	0,243327
1000	2,005071	0,000361	0,018008



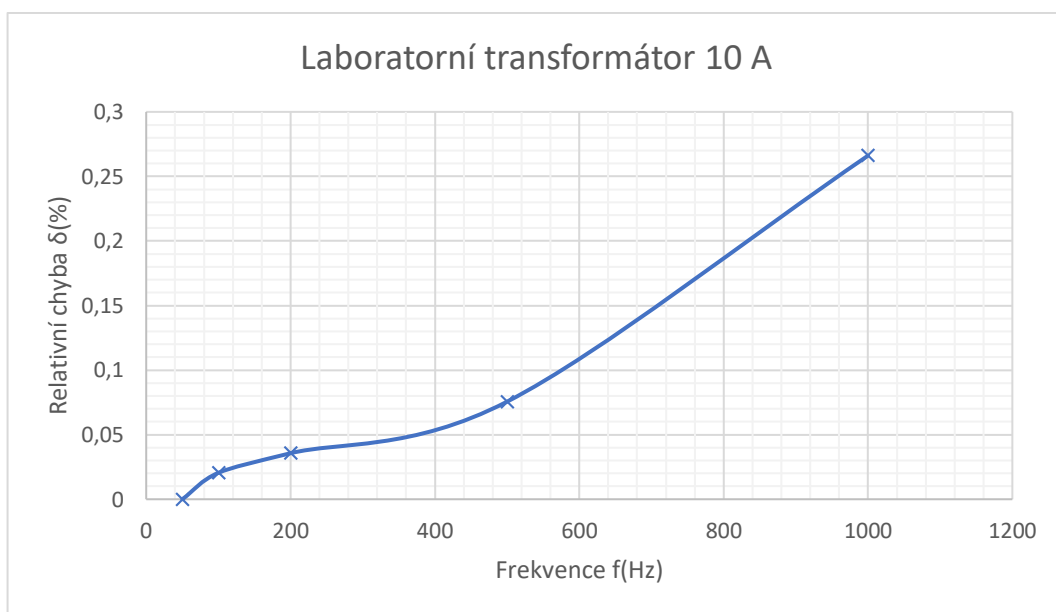
Obr. 23 – Frekvenční závislost průvlečného transformátoru při 6 A



Zde je průběh relativní chyby měření pro laboratorní transformátor při 10 A na primárním vinutí vzhledem k jeho frekvenci. Další měřený proud byl 5 A.

Tab. 4 – Tabulka naměřených hodnot pro laboratorní transformátor při 10 A

f[Hz]	I[A]	$\Delta$ [-]	$\delta$ [%]
50	2,501757	0	0
100	2,502269	0,000512	0,020466
200	2,502649	0,000892	0,035655
500	2,503648	0,001891	0,075587
1000	2,508414	0,006657	0,266093



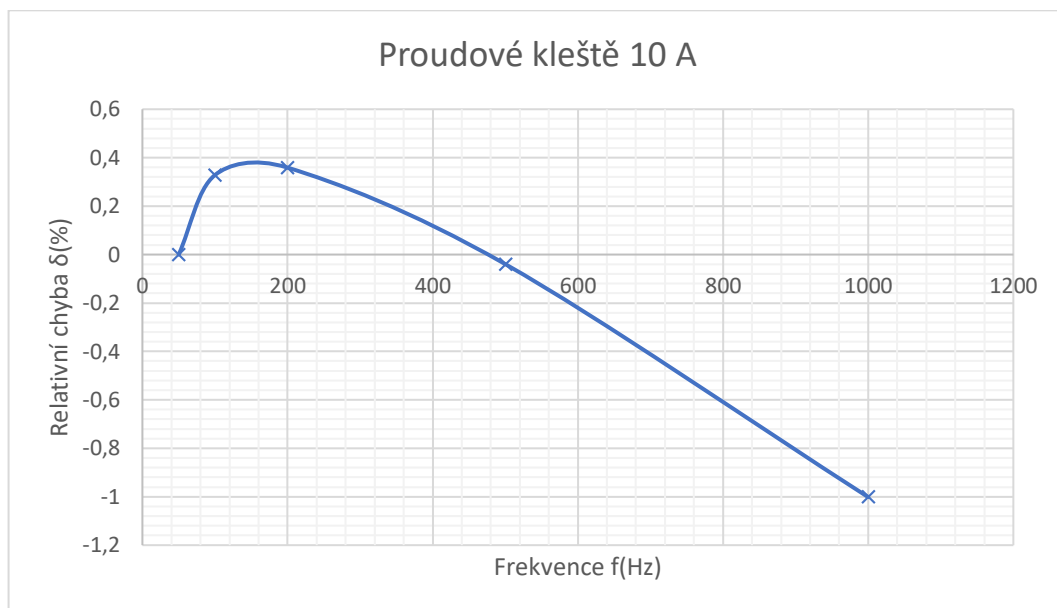
Obr. 24 – Frekvenční závislost laboratorního transformátoru při 10 A

Zde je tabulka pro průběh relativní chyby měření měřících kleští při 10 A na primárním vinutí vzhledem k jejich frekvenci. Další měřené hodnoty byly 5 A, 15 A a 20 A.

Tab. 5 – Tabulka naměřených hodnot pro proudové kleště při 10 A

f[Hz]	U[V]	$\Delta$ [-]	$\delta$ [%]
50	0,983159	0	0
100	0,986388	0,003229	0,328431
200	0,986688	0,003529	0,358945
500	0,98277	-0,00039	-0,03957
1000	0,973312	-0,00985	-1,00157

Zde je průběh relativní chyby proudových kleští v závislosti na frekvenci při 10 A na primárním vinutí.



Obr. 25 – Frekvenční závislost proudových měřících kleští při 10 A

## 14.2 Měření teplotní závislosti

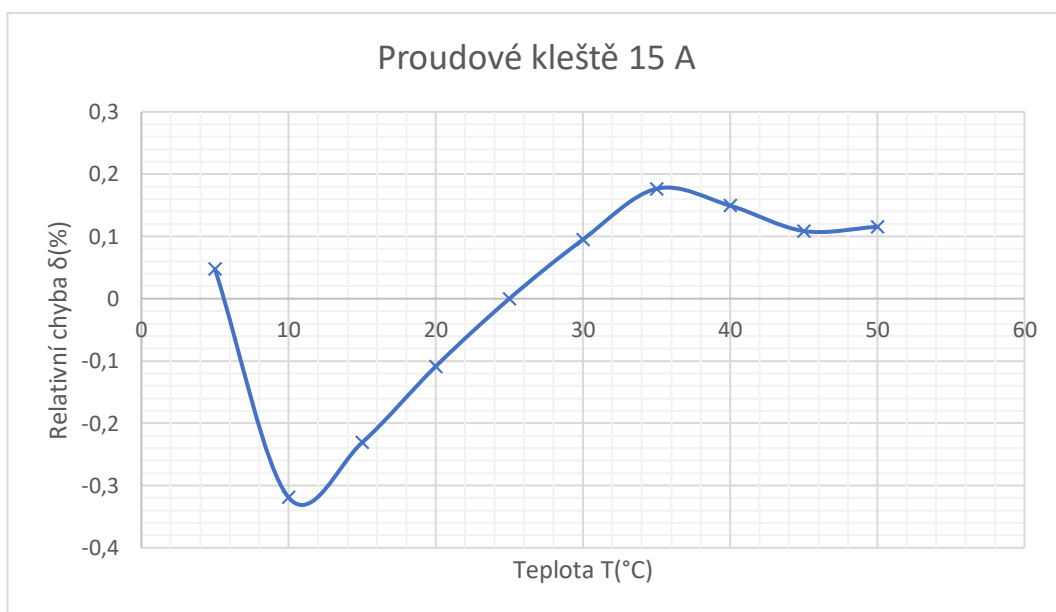
U teplotní charakteristiky byl princip měření obdobný. Na primární vinutí byl opět přiveden konstantní proud. Měnila se zde pouze teplota. Teplota se pohybovala v rozmezí 5–50 °C. Na primárním vinutí byl opět, stejně jako u frekvenční závislosti, měřen pomocí multimetru proud na sekundárním vinutí. Stejně tak i u teplotní charakteristiky zároveň s měřením vypočítávaná hodnota absolutní a relativní chyby, která je vztažena k proudu na sekundárním vinutí při 25 °C. Pro teplotu 25 °C byla chyba vztahována kvůli toho, že se jedná o optimální teplotu pro použité přístroje. Všechny průběhy jsou v závislosti teploty na relativní chybě.

Zde je tabulka hodnot s relativní chybou pro proudové měřicí kleště při 15 A na primárním vinutí. Průběhy pro další proudy jsou zase v příloze – opět vycházejí skoro stejné charakteristiky. Další měřené proudy byly 5 A, 10 A a 20 A.

Tab. 6 – Tabulka naměřených hodnot pro proudové kleště při 15 A

T[°C]	U[V]	$\Delta$ [-]	$\delta$ [%]
5	1,4731	0,0007	0,047541
10	1,4677	-0,0047	-0,31921
15	1,469	-0,0034	-0,23092
20	1,4708	-0,0016	-0,10867
25	1,4724	0	0
30	1,4738	0,0014	0,095083
35	1,475	0,0026	0,176582
40	1,4746	0,0022	0,149416
45	1,474	0,0016	0,108666
50	1,4741	0,0017	0,115458

Zde je průběh relativní chyby měření, vzhledem k teplotě měřícího transformátoru pro měřicí proudové kleště při proudu 15 A na primárním vinutí.



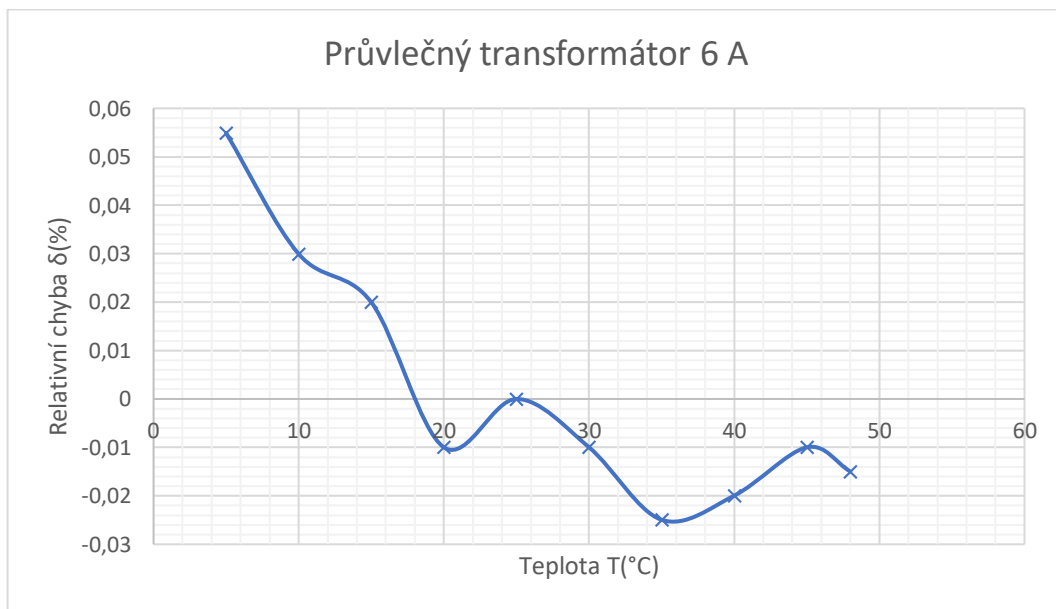
Obr. 26 – Teplotní závislost proudových měřících kleští při 15 A

Zde je tabulka hodnot pro průvlečný transformátor při 6 A na jeho sekundárním vinutí, při různých teplotách. Dále byly měřeny proudy 3 A a 9 A.

Tab. 7 – Tabulka naměřených hodnot pro průvlečný transformátor při 6 A

T[°C]	I[A]	$\Delta$ [-]	$\delta$ [%]
5	2,0053	0,0011	0,054885
10	2,0048	0,0006	0,029937
15	2,0046	0,0004	0,019958
20	2,004	-0,0002	-0,00998
25	2,0042	0	0
30	2,004	-0,0002	-0,00998
35	2,0037	-0,0005	-0,02495
40	2,0038	-0,0004	-0,01996
45	2,004	-0,0002	-0,00998
48	2,0039	-0,0003	-0,01497

Zde je průběh relativní chyby průvlečného transformátoru při 6 A na primárním vinutí, vzhledem k jeho teplotě.



Obr. 27 – Teplotní závislost kruhového transformátoru při 6 A

Laboratorní transformátor nebyl v případě teplotní závislosti měřen z důvodu velikosti a problému s oteplením

## 15 Zhodnocení naměřených hodnot

Vzhledem k výsledkům chyb, chování transformátorů a jejich charakteristik, se může vyhodnotit jejich linearita a zvýšení chyby. U frekvenční charakteristiky byla do výsledného měření také promítnuta celková nejistota kalibrátoru a multimetru pro zpřesnění měření.

Jak jde na charakteristikách vidět, všechny, až na laboratorní transformátor jsou nelineární. To znamená, že je nemůžeme nahradit jednoduchou lineární funkcí a tím nemůžeme předpovídat jejich chování při dalších frekvencích či teplotách. Zároveň se všechny transformátory chovají jinak, což je dáno jejich konstrukcí a provedením měření.

Co se týče zvýšení chyby, tak první chybu způsoboval již samotný kalibrátor i multimetr a pak samozřejmě samotný transformátor. Z tohoto důvodu jsou vypočteny nejistoty, které jsou do výsledku promítnuty – tyto nejistoty eliminují chyby měřících přístrojů. U frekvenční charakteristiky způsobovaly největší chybu měřící kleště a to až 1 %. Pak stejnou chybu způsoboval laboratorní transformátor s průvlečným, a to maximálně o 0,25 %. U teplotní závislosti byla chyba zvýšena a to až 0,3 %. Za to průvlečné trafo nebylo skoro vůbec teplotně závislé, tam bylo zvýšení chyby minimální a to o 0,06 %. U kleští byla chyba největší zřejmě také proto, že vodič má v být kleštích v ideální poloze po celou dobu měření a to zřejmě nebyl.

Naměřené hodnoty by se daly implementovat jako korekční tabulky do programu, který by tyto transformátory využíval a program by tím pádem věděl, jak je vysoká chyba při dané teplotě nebo frekvenci a uměl by ji eliminovat.

Tab. 8 – Zhodnocení naměřených hodnot

Měřicí transformátor	Frekvenční závislost		Teplotní závislost	
	Linearita	Zvýšení chyby	Linearita	Zvýšení chyby
Proudové kleště	ne	1 %	ne	0,30 %
Laboratorní transformátor	ano	0,25 %	neměřeno	neměřeno
Průvlečný transformátor	ne	0,25 %	ne	0,06 %

## 16 Závěr

V této práci jsem splnil všechny body zadání, vytvořil jsem aplikaci, která automatizovaně měřila proudové transformátory, počítala jejich chybu, promítala nejistoty do výsledku měření, kvůli zpřesnění měření a zároveň eliminaci chyb měření kalibrátoru a multimetru a vykreslovala závislosti do grafů. Mimo to aplikace ukládala naměřená data do Excel souboru. Naměřené hodnoty a průběhy jsem náležitě zpracoval a vyhodnotil. Aplikace se dá využít i na jiné typy transformátorů. Dají se pozměnit jejich měřící rozsahy a celkové nastavení měření. Naučil jsem se přes LabVIEW ovládat kalibrátor Omicron CMC256 a multimetr Agilent U3606B, včetně jejich vlastností, chování a využití. Také jsem se samozřejmě seznámil s vlastnostmi proudových měřících transformátorů, včetně těch, které jsem měřil a jejich problematikou. Jak již jsem zmínil v zhodnocení, naměřené hodnoty se dají použít do dalších aplikací. Má práce by se dala doplnit prací s problematikou polohy vodiče v proudových kleštích.

## 17 Seznam použitých zdrojů

[1] BIČOVSKÁ, Blanka. *Elektrická měření: Učební text* [online]. Ostrava: VŠB – TUO, 2007 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

[http://www.elearn.vsb.cz/archived/FEI/EM/data/Bicovska\\_elektricka%20mereni.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archived/FEI/EM/data/Bicovska_elektricka%20mereni.pdf)

[2] CMC 256plus. *Omicron* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

<https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-256plus/>

[3] *CMC 256plus Brochure: The High Precision Relay Test Set and Universal Calibrator* [online].

[cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.omicronenergy.com/en/download/document/44ADB924-61AB-4829-8D23-B04E6944AFD5/>

[4] *CMC 256 Hardware: Reference Manual - Test universe* [online]. OMICRON electronics, 2004

[cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1477889/mod\\_folder/content/0/Manuais%20de%20produtos/Caixa%20de%20teste%20Omicron%20CMC%20256%20Net%201/CMC256.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1477889/mod_folder/content/0/Manuais%20de%20produtos/Caixa%20de%20teste%20Omicron%20CMC%20256%20Net%201/CMC256.pdf?forcedownload=1)

[5] - Keysight U3606B Multimeter, DC Power Supply Multimeters. In: *TestUnlimited* [online].

[cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://www.testunlimited.com/productDetail.aspx?product\\_id=123](https://www.testunlimited.com/productDetail.aspx?product_id=123)

[6] - *Agilent U3606B: Multimeter, DC Power Supply* [online]. 10. Santa Clara, CA 95051 USA:

Agilent Technologies, 2014 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

[https://doc.xdevs.com/doc/HP\\_Agilent\\_Keysight/English%20\\_%202013-04-05%20\\_%20PDF%209.48%20MB%20U3606-90013%20c20140711%20%5B287%5D.pdf](https://doc.xdevs.com/doc/HP_Agilent_Keysight/English%20_%202013-04-05%20_%20PDF%209.48%20MB%20U3606-90013%20c20140711%20%5B287%5D.pdf)

[7] *LabVIEW: Lecture Overview* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

<http://www.csun.edu/~rd436460/Labview/Lecture-Overview.pdf>

[8] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální Instrumentace I.: učební text* [online]. Ostrava: VŠB - TUO, 2012 [cit. 2019-04-18]. ISBN xxxx. Dostupné z:

[https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/805634/mod\\_resource/content/6/Virtualni\\_Instrumentace\\_I\\_Wittassek\\_2012-09-05a.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/805634/mod_resource/content/6/Virtualni_Instrumentace_I_Wittassek_2012-09-05a.pdf)

[9] NG, Johnny. Cyclone Control Suite SDK: Automated Flash Programming with LabVIEW®.

*PE micro* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

[http://www.pemicro.com/blog/index.cfm?post\\_id=157](http://www.pemicro.com/blog/index.cfm?post_id=157)

[10] How to Use an Instrument Driver in LabVIEW Tutorial. *National Instruments* [online]. 2019

[cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.ni.com/tutorial/2804/en/>

- [11] Přesnost a chyby měření. *Jihočeská univerzita České Budějovice* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [http://home.pf.jcu.cz/~kriz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=226:chybymer&catid=55&Itemid=27](http://home.pf.jcu.cz/~kriz/index.php?option=com_content&view=article&id=226:chybymer&catid=55&Itemid=27)
- [12] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. Chyby a nejistoty měření. *Portál moderní fyziky* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf>
- [13] Směrodatná odchylka. *Jihočeská univerzita České Budějovice* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://matematika.cz/smerodatna-odchylka>
- [14] BLATONĚ, Martin. *Transformátor* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://www.mendelova.cz/files/posts/4390/files/5is02f9-ttransformator.pdf?fbclid=IwAR0euiRXL5mQE840ZvtP-Qcp4qBNZHqmPA\\_0LiVW1jtO5FGOPpnTlkqA5U4](https://www.mendelova.cz/files/posts/4390/files/5is02f9-ttransformator.pdf?fbclid=IwAR0euiRXL5mQE840ZvtP-Qcp4qBNZHqmPA_0LiVW1jtO5FGOPpnTlkqA5U4)

## **18 Přílohy**

- I. Příloha v IS EDISON - Aplikace LabVIEW pro frekvenční závislost
- II. Příloha v IS EDISON - Aplikace LabVIEW pro teplotní závislost
- III. Příloha v IS EDISON - Naměřené průběhy a tabulky hodnot pro frekvenční závislost
- IV. Příloha v IS EDISON - Naměřené průběhy a tabulky hodnot pro teplotní závislost